

KINGA DOBOSZ, JULIA TUSZER-KUNC, DAGMARA KULASA,
SYLWIA ŚLIWIŃSKA-WILCZEWSKA

*Instytut Oceanografii
Wydział Oceanografii i Geografii
Uniwersytet Gdański
Al. M. Piłsudskiego 46, 81-378 Gdynia
E-mail: dobosh1994@gmail.com*

WYKORZYSTANIE SINIC W HODOWLACH MASOWYCH

HODOWLE MASOWE SINIC

Sinice (Cyanobacteria) posiadają wiele pozytywnych cech, które kwalifikują je jako potencjalne źródło biomasy, m.in. dzięki wysokiej wydajności fotosyntetycznej, która przekłada się na szybki wzrost liczebności ich komórek (ALFEUS 2016).

Mimo złej opinii, jaką mają sinice w związku z toksycznymi zakwitami, hodowla tych organizmów jest niezwykle przyjazna dla środowiska. Większość masowych upraw rolniczych wymaga dużych nakładów słodkiej wody oraz niebezpiecznych i toksycznych dla środowiska nawozów sztucznych. Tymczasem sinice nie potrzebują żadnego z tych dwóch elementów, ponieważ ich wymagania środowiskowe są stosunkowo niewielkie. W sprzyjających warunkach podziały komórkowe odbywają się nawet co kilka godzin (WERLE i współaut. 2013).

Według PADE i HAGEMANN (2014), to ewolucja efektywnego mechanizmu przystosowywania się do zmian zasolenia umożliwiła sinicom kolonizację siedlisk charakteryzujących się zasoleniem zarówno niskim, jak i wysokim. Autorzy twierdzą również, że masowa produkcja sinic powinna odbywać się w wodzie słonej, aby uniknąć problemu z dostępem i wykorzystywaniem zasobów wody słodkiej, które i tak są niewielkie. Dzięki temu gatunki, które przystosowane są do wzrostu w wodzie o wysokim zasoleniu, a także o wysokiej tolerancji na dostępność światła i zmiany temperatury, staną się wyjściowym punktem do wyizolowania wysoce produktywnych szczepów sinic.

Hodowla sinic może być prowadzona zarówno w otwartych basenach, jak i tzw. foto-bioreaktorach (LEE 2001, IGLIŃSKI i współaut. 2011, PANDEY i współaut. 2013). Hodowle prowadzone na otwartej przestrzeni są tańsze, ale narażone na silny wpływ czynników zewnętrznych oraz dopływ zanieczyszczeń przenoszonych m.in. przez wiatr (TREDICI 2010). W hodowlach zamkniętych (bioreaktorach) łatwiej utrzymać hodowlę monokulturową mikroglonów lub sinic oraz na bieżąco kontrolować parametry wody. W tego typu hodowli możliwe jest także osiągnięcie większej wydajności w porównaniu do otwartych basenów hodowlanych (LEE 2001).

Nowe narzędzia i metody, które pozwolą na lepsze zrozumienie całego procesu metabolicznego zachodzącego w sinicach, umożliwią stworzenie bardziej wydajnych i opłacalnych systemów produkcji tych organizmów, jako źródeł paliw odnawialnych, surowców chemicznych lub innych wysoce wartościowych produktów (PADE i HAGEMANN 2014).

ROLA SINIC W PRZEMYSŁE SPOŻYWCZYM

Wzmianki o stosowaniu sinicy *Arthrospira* sp. pojawiają się już w XVI w., kiedy korzystali z niej Aztekowie. Do dzisiaj wiele plemion używa sinic jako dobrze zbilansowanego pokarmu. Masowe hodowle sinic w celach spożywczych rozpoczęły się już w latach 70. XX w. Od tamtego czasu preparaty z *Arthrospira* sp. (m. in. *A. maxima* i *A. platensis*) sprzedawane są na

całym świecie pod nazwą „spirulina”, a kraje, które produkują ją w największych ilościach to m.in. USA (firma Earthrise Farms I Cyanotech), Chiny (firma Hainan DIC Microalgae Co., Ltd), Indie (firma Marugappa Chettir Research Center), Kuba (firma Genix) i Chile (firma Solarium Biotechnology). Suplementy te dostępne są w postaci tabletek, proszków, a nawet chipsów, zarówno w aptekach, sklepach zielarskich oraz dużych marketach ze zdrową żywnością (MIKLASZEWSKA i współaut. 2008).

„Spirulina” może być ważnym składnikiem diety, ponieważ stanowi bogate źródło białka. Badania potwierdzają, że białka stanowią 60% suchej masy sinic (PRASANNA i współaut. 2010), a ich zawartość zależy od warunków hodowli konkretnych gatunków (*A. platensis* i *A. maxima*). Wykonane przez CIFFERI (1983) analizy wykazały, że organizmy hodowane w laboratorium zawierały dużo więcej białka niż te, które pochodziły z otwartych zbiorników, charakteryzujących się wyższą zawartością węglowodanów. Ponadto, sinice zawierają wiele aminokwasów niezbędnych w zdrowej diecie, dzięki czemu są one na szeroką skalę wykorzystywane do produkcji żywności. Codzienne spożywanie odpowiedniej ilości biomasy *Arthrospira* sp. uzupełnienia deficytu białek i innych ważnych substancji, potrzebnych dla prawidłowego funkcjonowania organizmu (MIKLASZEWSKA i współaut. 2008). Sinice należące do tego rodzaju mogą pomóc w rozwiązaniu kolejnego problemu ludzkości, jakim jest otyłość, ponieważ zawierają związki obniżające poziom cholesterolu we krwi. Dodatkowo, hodowla *Arthrospira* sp. jest łatwa i stosunkowo tania, co przekłada się na duże zyski m.in. z masowej hodowli glonów (około 30%), która przeznaczana jest na produkcję pożywienia (KAMJUNKE i współaut. 2002).

Organizmy te są również coraz częściej stosowane w celu zwiększenia wartości odżywczej pasz dla zwierząt, ze względu na ich dobrze wyważony skład chemiczny. Udowodnione zostało, że dodawanie masowo hodowanych sinic z gatunku *Microcystis* sp. do pokarmu ryb, wpływa na ich szybszy wzrost oraz zwiększoną produkcję glikogenu w wątrobie (KAMJUNKE i współaut. 2002).

Ponadto, sinice zawierają cenne barwniki fikobilinowe, które są szeroko wykorzystywane jako barwnik spożywczy. Niebieski pigment (fikocyjanina) został już skomercjalizowany w Japonii, jako pigment żywnościowy, podczas gdy ksantofil (zeaksantyna), okazał się skuteczny w zwiększaniu pigmentacji ryb i krewetek (MORI i współaut. 1987).

SINICE W PRZEMYSŁE MEDYCZNYM

Identyfikacja nowych produktów naturalnego pochodzenia jest ważnym krokiem w odkrywaniu nowych źródeł leków, mających szerokie spektrum zastosowania (COSTA i współaut. 2014). Uważa się, że sinica *A. platensis* może być ważnym obiektem badań biotechnologicznych, ze względu na jej wartość ekonomiczną, ekologiczną i żywieniową (PELIZER i współaut. 2003). *A. platensis* może wytwarzać duże ilości bogatych wartościowo barwników fotosyntetycznych zwanych fikobilinami (CHEN i ZHANG 2003), które można podzielić na fikocyjaninę (kolor niebieski) oraz fikoerytrynę (charakteryzującą się barwą czerwoną) (ABALDE i współaut. 1998). Fikocyjanina jest głównym pigmentem wytwarzanym przez sinice *A. platensis* i może stanowić nawet 20% suchej masy komórki (VONSHAK 1997). Potencjalnie może być stosowana jako środek terapeutyczny w leczeniu chorób oksydacyjnych. Obecna tendencja stosowania naturalnych pigmentów uczyniła z fikocyjaniny atrakcyjny bioprodukt. W Europie coraz intensywniej poszukuje się naturalnych składników, ponieważ wytwarzane syntetyki są na ogół uważane za toksyczne, a także niebezpieczne dla człowieka i środowiska (BELLISLE i współaut. 1998).

Spirulina zasługuje na szczególną uwagę ze względu na jej właściwości nutraceutyczne, czyli produktu spożywczego, który łączy w sobie właściwości żywieniowe i farmaceutyczne. Skład chemiczny spiruliny wskazuje, że ma wysoką wartość odżywczą ze względu na zawartość niezbędnych składników, takich jak: witaminy, minerały, białka i wielonienasycone tłuszcze oraz kwasy takie jak kwas γ -linolenowy GLA (MIRANDA i współaut. 1998). *A. platensis* stanowi bogate źródło witamin z grupy B (B1, B2, B6 i B12) oraz C, E, PP (niacyna), a także minerałów: P, Fe, Ca, K, Na, Mg. Zawiera również kwas foliowy, kwas pantotenowy i inozytol oraz barwniki. Odkąd zwrócono uwagę na jej specjalne właściwości, przeprowadzono wiele badań umożliwiających i tłumaczących jej zastosowanie (YANG i współaut. 2012).

Spirulina została również przebadana na obecność związków przeciwutleniających, takich jak fenole (ESTRADA i współaut. 2001, MIRANDA i współaut. 1998). Występowanie fenolu w roślinach i jego aktywność antyoksydacyjna jest bardzo dobrze udokumentowana, natomiast właściwości przeciwutleniające sinic są mniej poznane. U pacjentów z hipercholesterolemią, czyli podwyższonym poziomem złego cholesterolu (LDL), podawano spirulinę jako suplement diety. Zaobserwowano, że zawartość LDL we krwi pacjen-

tów uległa obniżeniu (RAMAMOORTHY i PREMAKUMARI 1996). Dodatkowo wykazano, że fikobiliproteiny wyodrębnione z *A. platensis* wykazują aktywność antyoksydacyjną (ESTRADA i współaut. 2001).

Sinica *A. platensis* jest również jednym z najbardziej obiecujących źródeł wielonienasyconego kwasu tłuszczowego γ -linolenowego. Jego brak w organizmie powoduje, że skóra staje się sucha i traci swoją elastyczność, co przyspiesza tworzenie się zmarszczek. Niedobór tego kwasu sprawia, że naturalna odporność skóry na szkodliwe działanie czynników zewnętrznych zanika, a proces gojenia się ran i pęknięć naskórka zachodzi wolniej (BOJANOWICZ i WOŹNIAK 2008). Dzięki badaniom TANTICHAROEN i współaut. (1994) wiadomo, że zawartość GLA w spirulinie może osiągnąć 31,7% kwasów tłuszczowych i 1,4% biomasy (suchej masy), co udowadnia, że zawartość GLA w sinicach jest największa w porównaniu z innymi mikroglonami. Spirulina posiada także właściwości przeciwwzapalne i neowaskularyzacyjne, co pokazują badania prowadzone na myszach. Wcześniej poparzone roztworem NaOH oczy zwierząt przemywano ekstraktem ze spiruliny przez 7 dni. Wyniki badań udowodniły, że ekstrakt ze spiruliny hamuje ekspresję czynników, takich jak: VEGF (czynnik wzrostu śródbłonna naczyniowego), MMP2 (metaloproteinaza macierzy 2) i MMP9 (metaloproteinaza macierzy 9), natomiast stymuluje ekspresję PEDF (pigment pochodzący z nabłonka pigmentowego). Tak więc spirulina może hamować CNV (neowaskularyzacja naczyń krwionośnych w warstwie naczyń oka) poprzez zmniejszenie ilości czynników biorących udział w procesie powstawania naczyń włosowatych w angiogenezie, oraz jednocześnie aktywującą czynników ją hamujących (YANG i współaut. 2012).

Wpływ spiruliny na mediatory stanu zapalnego badano przy użyciu myszy albinosów obu płci, u których wywołano reumatoidalne zapalenie stawów za pomocą adiuwantów, które służą do wzmocnienia odpowiedzi odpornościowej na podany antygen. Część zwierząt otrzymywała „spirulinę” przez 8 dni. Badania wykazały, że ekstrakt ze „spiruliny” hamował obrzęk kończyn, co spowodowane było spadkiem poziomu hydrolaz lizosomalnych. Uważa się, że zmniejszenie obrzęku dzięki „spirulinie” związane jest z jej ingerencją w przemianę cyklicznej oksygenazy (RASOOL i współaut. 2006).

Z kolei przeprowadzone badanie *in vitro* przez HAYASHI i współaut. (1996) dowiodły, że spirulina posiada właściwości przeciwwirusowe. Wyekstrahowano z niej polisacharyd

zawierający reszty kwasu siarkowego (VI), spirulan wapnia (Ca-SP), który wykorzystano jako materiał do badań. Okazało się, że spirulan wapnia wykazuje przeciwwirusowe właściwości w stosunku do wirusa HIV-1, HSV-1 i ludzkiego wirusa cytomegalii. Mechanizm, blokujący replikację wirusa, polega na hamowaniu połączenia się wirusa z komórka gospodarza i ich późniejszej fuzji.

W innych badaniach sprawdzano także właściwości przeciwbakteryjne spiruliny. Testy wykazały, że ekstrakt ze spiruliny przyspieszył wzrost bakterii mlekowych, które są zaliczane do organizmów probiotycznych, wspomagających utrzymywanie równowagi pomiędzy szkodliwymi i korzystnymi mikroorganizmami w przewodzie pokarmowym, dzięki czemu poprawione zostaje wchłanianie jelitowe. Podobnie we wcześniejszych badaniach, ekstrakt ze spiruliny hamował rozwój bakterii patogennych (BHOWMIK i współaut. 2009).

Jednak nie tylko *A. platensis* może być źródłem cennych produktów wykorzystywanych w przemyśle medycznym czy farmaceutycznym. COSTA i współaut. (2014) wykazali, że pikoplanktonowe, morskie sinice należące do rodzajów: *Cyanobium*, *Synechocystis*, *Synechococcus* oraz formy nitkowate z rodzajów: *Nodosilinea*, *Leptolyngbya*, *Pseudanabaena* i *Romeria* mają duży potencjał jako źródło związków o charakterze przeciwnowotworowym. Dodatkowo, MUNDT i współaut. (2014) twierdzą, że wtórne metabolity sinic (tzw. paracyklofany) mogą być potencjalnie wykorzystywane w produkcji antybiotyków. Związki te produkowane są przez różne gatunki sinic i mogą być izolowane w postaci czystego związku z wydajnością 0,1 do 0,2%. Są one też biologicznie aktywne w stosunku do bakterii opornych na wiele rodzajów leków.

WYKORZYSTANIE SINIC W PRZEMYŚLE KOSMETYCZNYM

W przemyśle kosmetycznym ekstrakty roślinne zostały uznane za substancje mogące wspierać ochronę antyoksydacyjną organizmu, stąd też pojawiły się pomysły, aby wykorzystywać je jako foto-ochronne składniki produktów kosmetycznych (ALMEIDA i współaut. 2015). Dodatkowo, w sinicach wykryto zdolność syntezy związków chroniących przed promieniowaniem UV (RASTOGI i współaut. 2010). W związku z tym są one dobrym źródłem pozyskiwania środków zapewniających ochronę przed UV, wykorzystywanych w kosmetykach (ALFEUS 2016). Jako przykład można podać aminokwas „porphyra 334”, wyizolowany z sinicy *Aphanizomenon flos-aquae*, który po dodaniu do produktów

chroniących przed promieniowaniem słonecznym dwóch znanych marek (Nivea i Boots) sprawił, że stały się one bardziej efektywne (TORRES i współaut. 2006). Kolejnym związkiem pozyskiwanym z sinicy, który może zaistnieć jako środek chroniący przed promieniowaniem UV, jest scytonemina wyizolowana z sinicy *Stigonema* spp. (KARLSSON 2011).

Sinica *A. platensis* wykorzystywana jest także do barwienia produktów kosmetycznych w sposób naturalny (BELLISLE i współaut. 1998). Ze względu na dużą zawartość witamin, minerałów, kwasu foliowego, pantotenowego, a także aminokwasów (YANG i współaut. 2012) jest to gatunek najczęściej wykorzystywany w produkcji kosmetyków takich jak: kremy do twarzy, maseczki czy toniki. Obecnie większość marek kosmetycznych ma w ofercie produkt zawierający w swoim składzie związki pochodzące z mikroglonów, a w szczególności z sinic. Organizmy te wykorzystywane są także w suplementach diety, mających poprawiać kondycję skóry, włosów i paznokci, często w połączeniu ze słodkowodną zielenicą *Chlorella* sp. lub młodym jęczmieniem.

WYKORZYSTANIE ZWIĄZKÓW SINIC W ROLNICTWIE

Metabolity sinic mogą mieć również zastosowanie jako herbicydy i insektycydy (BERRY i współaut. 2008). Szacuje się, że na komercyjne zastosowanie herbicydów i insektycydów Stany Zjednoczone wydają kilka miliardów dolarów rocznie (PENG i współaut. 2003). Dlatego w ostatnich dziesięcioleciach prowadzono wiele badań analizujących rolę sinic jako biologicznego środka zwalczającego szkodniki i wykorzystanie ich na rzecz zrównoważonego rolnictwa (SODAEIZADEH i HOSSEINI 2012). Wytwarzane przez sinice związki są zatem potencjalnym źródłem alternatywnych rozwiązań i stają się nową strategią w rolnictwie.

Sinice mogą być bardzo efektywne jeśli chodzi o wzbogacanie gleby w węgiel organiczny i azot, a także zwiększanie biodostępności związków fosforu dla uprawianych roślin. Są także idealnym źródłem różnorodnych bioaktywnych związków o wyraźnych właściwościach antagonistycznych (SINGH J. i współaut. 2016). W związku z wprowadzaniem zrównoważonego rolnictwa istnieje ogromny potencjał rozwoju organizmów które dbają o odpowiednią ilość składników odżywczych w glebie oraz biologiczną kontrolę szkodników i chorób, co ostatecznie może prowadzić do obniżenia kosztów uprawy. Do grupy tej należą również sinice (SINGH 2013, SINGH i SINGH 2013).

W ostatnich latach wiele uwagi poświęcono zastosowaniu wtórnych metabolitów sinic jako naturalnego środka chemicznego, służącego do zwalczania larw komarów (HARADA i współaut. 2000). Dane literaturowe wskazują, że choroby przenoszone przez komary (m. in. malaria, żółta febra, gorączka denga, różne formy zapalenia opon mózgowych, wirus gorączki zachodniego Nilu) zabijają każdego roku miliony ludzi na całym świecie i stanowią coraz poważniejszy problem (GUBLER 1998). Sinice to często główny składnik diety larw komarów (VAZQUEZ-MARTINEZ i współaut. 2002). Mając na uwadze zdolność sinic do wytwarzania metabolitów, które odstrasza i hamują wzrost drapieżników, sugeruje się, że produkcja takich związków przez słodkowodne sinice może stanowić potencjalne źródło ochrony przed komarami. RAGHUNATHA RAO i współaut. (1999) zaobserwowali, że metanolowy ekstrakt z sinicy *Westiellopsis* sp. był larwobójczy dla *Anophele saegypti* (przenoszącej gorączkę denga), *Anopheles stephensi* (przenoszącej malarię) oraz *Culex tritaeniorhynchus* i *Culex quinquefasciatus* (powodujących zapalenie opon mózgowych). Również HARADA i współaut. (2000) scharakteryzowali mieszaninę kwasów tłuszczowych ze szczepu *Oscillatoria agardhii*, która hamowała wzrost larw z gatunku *Aedes albopictus*, blisko spokrewnionych z *A. aegypti*. Odkrycie to jest szczególnie ważne, ponieważ zidentyfikowane związki należały do kwasów tłuszczowych, które w żaden sposób nie są szkodliwe dla ssaków (BERRY i współaut. 2008).

SINICE A BIOENERGETYKA

W społeczeństwie nadal istnieje potrzeba stosowania nieodnawialnych źródeł energii, a dodatkowo, wraz z rozwojem technologicznym, wzrasta zapotrzebowanie na energię. Dzisiejsza produkcja paliw płynnych na świecie niemal całkowicie zależy od ropy naftowej. Dlatego mikroglony stają się coraz bardziej docenianym substratem w produkcji biopaliw. Dostrzegalny jest wzrost zainteresowania produkcją biopaliw związany z rozwojem bioreaktorów i inżynierią bioenergetyki. Rozwój tej gałęzi może zwiększyć światowe bezpieczeństwo paliwowe oraz zmniejszyć problem wydzielanego do atmosfery dwutlenku węgla. Dodatkowo, są to źródła naturalne i odnawialne, w odróżnieniu od wydobywanego gazu ziemnego, ropy naftowej czy węgla kamiennego (LARKUM i współaut. 2012).

Badania nad biopaliwem to nie tylko kwestia znalezienia właściwych organizmów tworzących dużą biomasę w szybkim czasie. Ważnym parametrem jest możliwość

przekształcenia zawartych w nich substancji w paliwo czy stworzenia na ich podstawie biogazu. Produkcja biopaliw musi być także zrównoważona ekonomicznie (PARMAR i współaut. 2011). Dyskusja nad produkcją biopaliw koncentruje się na wykorzystaniu wyższych roślinach, takich jak kukurydza, trzcina cukrowa, soja, olej palmowy i inne (GNANSOUNOU i współaut. 2008, PANDEY 2008), a także na problemach związanych z ich użytkowaniem, takich jak utrata ekosystemów lub wzrost cen żywności.

Obecnie do głównych biopaliw na rynku światowym zalicza się biowodór, bioetanol, biodiesel i biogaz (PARMAR i współaut. 2011). Biodiesel to przetworzone chemicznie oleje roślinne do silników wysokoprężnych. Mogą one być wytwarzane w reakcjach chemicznych lipidów (olej roślinny, tłuszcz zwierzęcy) z alkoholem, co w połączeniu daje kwasy tłuszczowe. Biowodór jest bardziej atrakcyjnym biopaliwem do użytku w przyszłości, nie powodującym zanieczyszczenia i ma charakter niewyczerpalny. Etanol, czyli alkohol etylowy, jest lotną, łatwopalną, bezbarwną cieczą, którą wytwarza się przez fermentację cukru przez mikroorganizmy. Badania dowodzą, że sinice w kontrolowanych warunkach łatwo ulegają fermentacji (SINGH V. i współaut. 2016), co daje duże możliwości związane z wykorzystaniem poszczególnych ich gatunków jako substratu do pozyskiwania zielonej energii.

Sinice odgrywają znaczącą rolę w globalnej sekwestracji dwutlenku węgla, produkcji tlenu i w cyklu azotowym (PARMAR i współaut. 2011). Dzięki możliwościom przeprowadzania fotosyntezy mogą przekształcać do 10% energii słońca na biomase, w porównaniu do 1% odnotowanego u kukurydzy i trzciny cukrowej, czy 5% osiągniętych przez inne mikroglony (LI i współaut. 2008).

Obecnie do produkcji bioenergii używa się głównie kilku gatunków sinic (z rodzaju

Synechocystis i *Synechococcus*), inne bada się pod kątem możliwości pozyskiwania z nich energii. Podstawowymi parametrami jest ilość tłuszczu w komórkach sinic w stosunku do ich wielkości. W zależności od gatunku możemy uzyskać różną ilość substancji energetycznych (SINGH V. i współaut. 2016).

Tabela 1 przedstawia produktywność wytwarzania biowodoru przez poszczególne gatunki sinic. Widoczna jest duża różnorodność w zależności od badanego gatunku, a różnice dotyczą budowy komórki, jej wielkości, aktywności enzymów, efektywności fotosyntezy oraz rodzaju modyfikacji, którą przeprowadza się na wybranych gatunkach w celu zwiększenia wydajności.

W Tabeli 2 zawarto wykaz związków, które pozyskiwane są z sinic należących do rodzaju *Synechocystis* sp. Wszystkie te substancje są substratami energetycznymi. Zauważalne są dość duże różnice w wartości wyznaczonego współczynnika produktywności. Najwięcej oznaczono 1-butanolu, który został zaproponowany jako substytut oleju napędowego i benzyny ze względu na niską higroskopijność i wysoką wartość energetyczną uzyskiwaną w procesie spalania. Izobutanol jest dobrym kandydatem do zastąpienia benzyny ze względu na niską higroskopijność, dużą ilość energii wytwarzanej podczas spalania i kompatybilność z istniejącą już technologią pozyskiwania energii. Izopren jest biogazem, który powstaje jako produkt uboczny. Jednak bioreaktory muszą być odpowiednio przygotowane do tego, aby można było efektywnie pozyskiwać ten substrat energetyczny (MACHADO i ATSUMI 2012).

Niestety badania dotyczące uzyskania biopaliw z sinic są wciąż słabo rozwinięte. Sinice mają wiele zalet w porównaniu z tradycyjnymi roślinami energetycznymi, jednak masowa produkcja na skalę globalną nie jest obecnie technicznie możliwa. W

Tabela 1. Produkcja biowodoru w zmodyfikowanych sinicach.

Gatunek oraz szczep sinicy	Produktywność [$\mu\text{mol H}_2/(\text{mg Chl}\cdot\text{h})^{-1}$]	Referencje
<i>Synechococcus</i> sp. PCC7002	1,2	(SRIRANGAN i współaut. 2011)
<i>Anabaena</i> sp. PCC7120	50	(MASUKAWA i współaut. 2002)
<i>Synechocystis</i> sp. PCC6803	6	(COURNAC i współaut. 2004)
<i>Nostoc</i> sp. PCC7422	100	(YOSHINO i współaut. 2007)
<i>Anabaena variabilis</i> ATCC29413	12,6	(HAPPE i współaut. 2000)
<i>Cyanothece</i> sp. ATCC51142	400	(MIELNICKI i współaut. 2012)
<i>Nostoc linckia</i> HA-46	93-105	(MONA i współaut. 2011)

Tabela 2. Produkty chemiczne syntetyzowane przez zmodyfikowane sinice.

Produkt	Współczynnik produktywności [$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]	Gatunek	Referencje
1-Butanol	78,33	<i>Synechococcus elongatus</i> PCC7942	(LAN i LIAO 2011)
Izopren	2,08	<i>Synechocystis</i> sp. PCC6803	(LINDBERG i współaut. 2010)
Izobutyraldehyd	6,23	<i>Synechococcus elongatus</i> PCC7942	(ATSUMI i współaut. 2009)
Izobutanol	3,12	<i>Synechococcus elongatus</i> PCC7942	(ATSUMI i współaut. 2009)

przyszłości sinice mogą odgrywać znaczącą rolę w pozyskiwaniu alternatywnych zasobów energetycznych, niwelowaniu globalnego ocieplenia oraz poprawie zdrowia ludzkiego i bezpieczeństwa żywnościowego (PARMAR i współaut. 2011). Przyszłe badania muszą uwzględniać udoskonalenie szczepu, aby osiągnąć wysoką wydajność, utrzymać tempo wzrostu i poprawić potencjał komórek do przeżycia w niekorzystnych warunkach (MACHADO i ATSUMI 2012). Według SINGH V. i współaut. (2016), w przyszłości inżynieria genetyczna i badania nad metabolizmem odegrają ważną rolę w poprawie ekonomiki produkcji biopaliw z wykorzystaniem sinic.

PODSUMOWANIE

Hodowle masowe sinic mają ogromny potencjał gospodarczy. Sinice, ze względu na dużą zawartość związków odżywczych, są bardzo dobrym źródłem pożywienia zarówno dla ludzi, jak i zwierząt. Dodatkowo, znaczna zawartość witamin i minerałów oraz innych związków niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu wpływa na fakt, że sinice coraz częściej wykorzystywane są w przemyśle farmaceutycznym, medycynie i produkcji kosmetyków. Związki wytwarzane w ich procesach metabolicznych są także potencjalnym źródłem alternatywnych rozwiązań w walce z insektami i chwastami, co sprawia, że zyskują one coraz większe znaczenie w rolnictwie. Wiadomo również, że światowe zapotrzebowanie na energię ciągle wzrasta, a niektóre gatunki sinic o dużej zawartości tłuszczów, mogą stać się źródłem energii odnawialnej. Przedstawione informacje tylko w małym stopniu opisują potencjał sinic, a dalsze badania tej grupy mikroorganizmów pozwolą na odkrywanie nowych możliwości wykorzystania ich w różnych sektorach przemysłu.

Streszczenie

Masowa hodowla sinic ma swoje początki już w XVI w. W ostatnich latach zyskuje ona na popularności ze

względem na szybki wzrost i małe wymagania środowiskowe, a także szczególne właściwości tych mikroorganizmów. Sinice zawierają duże ilości witamin, minerałów, białek oraz wielonienasyconych kwasów tłuszczowych. Wykorzystuje się je w przemyśle spożywczym oraz w produkcji różnych kosmetyków, leków, jak również w technologiach oczyszczania ścieków czy usuwania związków biogennych. Najczęściej wykorzystywanym gatunkiem jest *Arthrospira platensis*, powszechnie znana jako spirulina, która ma dużą wartość ekonomiczną, ekologiczną oraz żywieniową. Niektóre sinice, ze względu na szybki przyrost biomasy stosowane są jako pokarm dla zwierząt. Odkryto także, że metabolity tej grupy organizmów mogą mieć zastosowanie jako herbicydy i insektycydy, przez co można przypisać im również istotną rolę w rolnictwie. Istnieją także gatunki sinic, które bada się szczególnie pod kątem wykorzystania ich w produkcji biopaliwa, aby mogłyby stanowić źródło energii odnawialnej.

LITERATURA

- ABALDE J., BETANCOURT L., TORRES E., CID A, BARWELL C., 1998. *Purification and characterization of phycocyanin from the marine cyanobacterium Synechococcus* sp. *Plant Sci.* 136, 109-120.
- ALFEUS A., 2016. *Cyanobacteria as a source of compounds with cosmetics potential*. Praca magisterska. Institute of Biomedical Sciences of Abel Salazar from the University of Porto.
- ALMEIDA I. F., PINTO A. S., MONTEIRO C., MONTEIRO H., BELO L., FERNANDES J., BENTO A. R., DUARTE L., GARRIDO J., BAHIA M. F., LOBO J. S., COSTA P. C., 2015. *Protective effect of C. sativa leaf extract against UV mediated-DNA damage in a human keratinocyte cell line*. *J. Photochem. Photobiol. B, Biol.* 144, 28-34.
- ATSUMI S., HIGASHIDE W., LIAO J. C., 2009. *Direct photosynthetic recycling of carbon dioxide to isobutyraldehyde*. *Nat. Biotechnol.* 27, 1177-1180.
- BELLISLE F., BLUNDELL T. E., DYE L., FANTINO M., FERN E., FLETCHER R. J., LAMBERT J., ROBERFROID M., SPECTER S., WESTNHOFER J., WESTERTER-PLANTENGA M. S., 1998. *Functional food science and behaviour and psychological functions*. *Brit. J. Nutrit.* 80, 419-435.
- BERRY J. P., GANTAR M., PEREZ M. H., BERRY G., NORIEGA F. G., 2008. *Cyanobacterial toxins as allelochemicals with potential applications as algacides, herbicides and insecticides*. *Marine Drugs* 6.2, 117-146.
- BHOWMIK D., DUBEY J., MEHRA S., 2009. *Probiotic efficiency of Spirulina platensis – stimulat-*

- ing growth of lactic acid bacteria. *World J. Dairy Food Sci.* 4, 160-163.
- BOJANOWICZ H., WOŹNIAK B., 2008. *Wielonienasycone kwasy tłuszczowe oraz ich wpływ na skórę*. *Problemy Higieny i Epidemiologii* 89, 471-475.
- CHEN F., ZHANG Y., 2003. *High cell density mixotrophic culture of Spirulina platensis on glucose for phycocyanin production using fed-batch system*. *Enzyme Microb. Technol.* 20, 221-224.
- CIFERRI O., 1983. *Spirulina, the edible microorganism*. *Microbiol. Rev.* 47, 551.
- COSTA M., GARCIA M., COSTA-RODRIGUES J., COSTA M. S., RIBEIRO M. J., FERNANDES M. H., BARROS P., BARREIRO A., VASCONCELOS V., MARTINS R., 2014. *Exploring bioactive properties of marine cyanobacteria isolated from the Portuguese coast: high potential as a source of anticancer compounds*. *Marine Drugs* 12, 98-114.
- COURNAC L., GUEDENEY G., PELTIER G., VIGNAIS P. M., 2004. *Sustained photoevolution of molecular hydrogen in a mutant of Synechocystis sp. strain PCC 6803 deficient in the type I NADPH-dehydrogenase complex*. *J. Bacteriol.* 186, 1737-1746.
- ESTRADA J. P., BESCÓS P. B., DEL FRESNO A. V., 2001. *Antioxidant activity of different fractions of Spirulina platensis protean extract*. *Il farmaco* 56, 497-500.
- GNANSOUNOU E., LARROCHE C., PANDEY A., 2008. *Biofuels II*. *J. Scien. Industr. Res.*, Special issue 67, 837-1040.
- GUBLER D. J., 1998. *Resurgent vector-borne diseases as a global health problem*. *Emerg. Infect. Dis.* 4, 3, 442.
- HAPPE T., SCHÜTZ K., BÖHME H., 2000. *Transcriptional and Mutational Analysis of the Uptake Hydrogenase of the Filamentous Cyanobacterium Anabaena variabilis ATCC 29413*. *J. Bacteriol.* 182, 1624-1631.
- HARADA K. I., SUOMALAINEN M., UCHIDA H., MASUI H., OHMURA K., KIVIRANTA J., IKEMOTO T., 2000. *Insecticidal compounds against mosquito larvae from Oscillatoria agardhii strain 27*. *Environ. Toxicol. Int. J.* 15, 2, 114-119.
- HAYASHI K., HAYASHI T., KOJIMA I., 1996. *A natural supfated polysaccharide, calcium spirulan, isolated from Spirulina platensis: In vitro and ex vivo evaluation of Anti-Herpes Simplex Virus and Anti-Human Immunodeficiency Virus activities*. *AIDS Res. Human Retroviruses* 12, 1463-1471.
- IGLIŃSKI B., BUCZKOWSKI R., PIECHOTA G., 2011. *Algi. Źródło energii i substancji chemicznych*. *Przemysł Chemiczny* 90, 1186-1190.
- KAMJUNKE N., MENDONCA R., HARDEWIG I., 2002. *Assimilation of different cyanobacteria as food and the consequences for internal energy stores of juvenile roach*. *J. Fish Biol.* 60, 731-738.
- KARLSSON I., 2011. *Chemical and dermatological aspects of UV-absorbing compounds*. *Rozprawa doktorska*. Department of Chemistry University of Gothenburg Göteborg, Sweden, <http://hdl.handle.net/2077/2666510.10.2017>.
- LAN E. I., LIAO J.C., 2011. *Metabolic engineering of cyanobacteria for 1-butanol production from carbon dioxide*. *Metab. Engine.* 13, 353-363.
- LARKUM A. W., ROSS I. L., KRUSE O., HANKAMER B., 2012. *Selection, breeding and engineering of microalgae for bioenergy and biofuel production*. *Trends Biotechnol.* 30, 198-205.
- LEE Y. K., 2001. *Microalgal mass culture systems and methods: Their limitation and potential*. *J. Appl. Phycol.* 13, 307.
- LI Y., HORSMAN M., WU N., LAN C. Q., DU-BOIS-CALERO N., 2008. *Biofuels from microalgae*. *Biotechnol. Progr.* 24, 815-820.
- LINDBERG P., PARK S., MELIS A., 2010. *Engineering a platform for photosynthetic isoprene production in cyanobacteria, using Synechocystis as the model organism*. *Metab. Engine.* 12, 70-79.
- MACHADO I. M., ATSUMI S., 2012. *Cyanobacterial biofuel production*. *J. Biotechnol.* 162, 50-56.
- MASUKAWA H., MOCHIMARU M., SAKURAI H., 2002. *Disruption of the uptake hydrogenase gene, but not of the bidirectional hydrogenase gene, leads to enhanced photobiological hydrogen production by the nitrogen-fixing cyanobacterium Anabaena sp. PCC 7120*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 58, 618-624.
- MELNICKI M. R., PINCHUK G. E., HILL E. A., KUCEK L. A., FREDRICKSON J. K., KONOPKA A., BELIAEV A. S., 2012. *Sustained H₂ production driven by photosynthetic water splitting in a unicellular cyanobacterium*. *mBio* 3, e00197-12.
- MIKLASZEWSKA M., WALERON M., WALERON K., 2008. *Biotechnologiczny potencjał cyjanobakterii z rodzaju Arthrospira*. *Biotechnologia* 3, 119-142.
- MIRANDA M. S., CINTRA R. G., BARROS S. B. M., MANCINI-FILHO J., 1998. *Antioxidant activity of the microalga Spirulina maxima*. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 31, 1075-1079.
- MONA S., KAUSHIK A., KAUSHIK C. P., 2011. *Hydrogen production and metal-dye bioremoval by a Nostoclinckia strain isolated from textile mill oxidation pond*. *Bioresource Technol.* 102, 3200-3205.
- MORI T., MURANAKA T., MIKI W., YAMAGUCHI K., KONOSU S., WATANABE T., 1987. *Pigmentation of cultured sweet smelt fed diets supplemented with a blue-green alga Spirulina maxima*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53, 433-438.
- MUNDT S., BUI H. T., PREISITSCH M., KREITLOW S., BUI H. T. N., PHAM H. T., ZAINUDDIN E., LE T. T., LUKOWSKI G., JÜLICH W. D., 2014. *Microalgae - A promising source of novel therapeutics*. *JSM Biotechnol. Biomed. Engine.* 2, 1032.
- PADE N., HAGEMANN M., 2014. *Salt acclimation of cyanobacteria and their application in biotechnology*. *Life* 5, 25-49.
- PANDEY A., 2008. *Handbook of plant-based biofuels*. CRC Press, Francis & Taylor's, Boca Raton, 297.
- PANDEY V. D., PANDEY A., SHARMA V., 2013. *Biotechnological applications of cyanobacterial phycobiliproteins*. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2, 89-97.
- PARMAR A., SINGH N. K., PANDEY A., GNANSOUNOU E., MADAMWAR D., 2011. *Cyanobacteria and microalgae: a positive prospect for biofuels*. *Bioresource Technol.* 102, 10163-10172.
- PELIZER L. H., DANESI E. D. G., RANGEL C. O., SASSANO C. E. N., CARVALHO J. C. M., SATO S., MORAES I. O., 2003. *Influence of inoculum age and concentration in Spirulina platensis cultivation*. *J. Food Engine.* 56, 371-375.
- PENG C., WU G., XI Y., XIA Y., ZHANG T., ZHAO Y., 2003. *Isolation and identification of three algae-lysing bacteria and their lytic effects on blue-green algae (Cyanobacteria)*. *Res. Environ. Sci.* 16, 37-40.
- PRASANNA R., SOOD A., JAISWAL P., NAYAK S., GUPTA V., CHAUDHARY V., 2010. *Rediscovering Cyanobacteria as valuable sources of bioactive compounds (Review)*. *Appl. Biochem. Microbiol.* 46, 119-134.
- RAGHUNATHA RAO D., THANGAVEL C., KABILAN L., SUGUNA S., MANI T. R., SHANMUGASUNDARAM S., 1999. *Larvicidal properties of the cyanobac-*

- terium Westiellopsis sp.(blue-green algae) against mosquito vectors.* Transact. Royal Soc.Trop. Med. Hyg. 93, 232-232.
- RAMAMOORTHY A., PREMAKUMARI S., 1996. *Effect of supplementation of Spirulina on hypercholesterolemic patients.* J. Food Sci. Technol. 33, 124-128.
- RASOOL M., SABINA E. P., LAVANYA B., 2006. *Anti-inflammatory effect of Spirulina fusiformis on adjuvant-induced arthritis in mice.* Biol. Pharmaceut. Bull. 29, 2483-2487.
- RASTOGI R. P., SINHA R. P., SINGH S. P., HÄDER D. P., 2010. *Photoprotective compounds from marine organisms.* J. Indust. Microbiol. Biotechnol. 37, 537558.
- SINGH J. S., 2013. *Plant growth promoting rhizobacteria.* Resonance 18, 275-281.
- SINGH J. S., SINGH D. P., 2013. *Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): microbes in sustainable agriculture.* [W:] *Management of microbial resources in the environment.* Malik A., GROHMAN E., ALVES M. (red.). Springer, Dordrecht, 361-385.
- SINGH J. S., KUMAR A., RAI A. N., SINGH D. P., 2016. *Cyanobacteria: A Precious bio-resource in agriculture, ecosystem, and environmental sustainability.* Front. Microbiol. 7, 529.
- SINGH V., CHAUDHARY D. K., MANI I., DHAR P. K., 2016. *Recent advances and challenges of the use of cyanobacteria towards the production of biofuels.* Renew. Sustain. Energy Rev. 60, 1-10.
- SODAEIZADEH H., HOSSEINI Z., 2012. *Allelopathy an environmentally friendly method for weed control.* International Conference on Applied Life Sciences. Turkey, 387.
- SRIRANGAN K., PYNE M. E., CHOU C. P., 2011. *Biochemical and genetic engineering strategies to enhance biohydrogen production in photosynthetic algae and cyanobacteria.* Bioresource Technol. 102, 8589-8604.
- TANTICHAROEN M., REUNGJITCHACHAWALI M., BOONAG B., VONDTAVEESUK P., VONSHAK A., COHEN Z., 1994. *Optimization of γ -linolenic acid (GLA) production in Spirulina platensis.* J. Appl. Phycol. 6, 295-300.
- TORRES A., ENK C. D., HOCHBERG M., SREBNIK M., 2006. *Porphyra-334, a potential natural source for UVA protective sunscreens.* Photochem. Photobiol. Sci. 5, 432-435.
- TREDICI M. R., 2010. *Photobiology of microalgae mass cultures: understanding the tools for the next green revolution.* Biofuels 1, 143-162.
- VAZQUEZ-MARTINEZ M. G., RODRÍGUEZ M. H., ARREDONDO-JIMÉNEZ J. I., MÉNDEZ-SÁNCHEZ J. D., BOND-COMPEÁN J. G., GOLD-MORGAN M., 2002. *Cyanobacteria associated with Anopheles albimanus (Diptera: Culicidae) larval habitats in southern Mexico.* J. Med. Entomol. 39.6, 825-832.
- VONSHAK A., 1997. *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology cell-biology and biotechnology.* Taylor & Francis, Londres.
- WERLE C. O., TRENDEL O., ARDITO G. 2013. *Unhealthy food is not tastier for everybody: The "healthy = tasty" French intuition.* Food Quality Preference 28, 116-121.
- YANG L. L., ZHOU Q. J., WANG Y., GAO Y., WANG Y. Q., 2012. *Comparison of the therapeutic effects of extracts from Spirulina platensis and amnion membrane on inflammation-associated corneal neovascularization.* Int. J. Ophthalmol. 5, 32-37.
- YOSHINO F., IKEDA H., MASUKAWA H., SAKURAI H., 2007. *High photobiological hydrogen production activity of a Nostoc sp. PCC 7422 uptake hydrogenase-deficient mutant with high nitrogenase activity.* Marine Biotechnol. 9, 101-112.

KOSMOS Vol. 67, 4, 0-000, 2018

KINGA DOBOSZ, JULIA TUSZER-KUNC, DAGMARA KULASA, SYLWIA ŚLIWIŃSKA-WILCZEWSKA

*Institute of Oceanography, Faculty of Oceanography and Geography, University of Gdańsk, 46 Piłsudskiego Str., 81-378 Gdynia,
E-mail: dobosh1994@gmail.com*

UTILIZATION OF CYANOBACTERIA IN MASS CULTURES

Summary

Cyanobacteria mass production has been known since XVI century. In recent years, it has gained popularity owing to rapid growth, low environmental requirements and special properties of these microorganisms. Cyanobacteria contain high amounts of vitamins, minerals, proteins and polyunsaturated fatty acids. They are used in the food industry and in the production of cosmetics, medicines and in wastewater treatment technologies or removal of biogenic compounds. The most commonly used species is *Arthrospira platensis*, known as "spirulina", of a high economic, ecological and nutritional value. Some cyanobacteria, due to the rapid growth, are used as food for animals. It was found that metabolites obtained from these organisms can be used as herbicides and insecticides, so they can play an important role in agriculture. There are also some species of cyanobacteria, which are particularly studied in terms of biofuel production, so they could also become a source of renewable energy.

Key words: aquaculture, microalgae, phytoplankton, spirulina